



jc997 U.S. PTO

09/923604



08/07/01

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

#5  
D. Scott  
3-902

**Aktenzeichen:** 100 39 004.8  
**Anmeldetag:** 10. August 2000  
**Anmelder/Inhaber:** Philips Corporate Intellectual Property GmbH,  
Hamburg/DE  
**Bezeichnung:** Anordnung zum Testen eines integrierten  
Schaltkreises  
**IPC:** G 01 R, G 06 F

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-  
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 17. Mai 2001  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag

Weihmayr



## BESCHREIBUNG

### Anordnung zum Testen eines integrierten Schaltkreises

Die Erfindung betrifft eine Anordnung zum Testen eines integrierten Schaltkreises mit einer kombinatorischen Logik, wobei die Anordnung einen Test des Verhaltens der

5 kombinatorischen Logik im Vergleich zu einem Softwaremodell vornimmt, die das Soll-Verhalten des integrierten Schaltkreises emuliert.

Integrierte Schaltkreise werden nach deren Fertigung üblicherweise getestet, d. h. es wird überprüft, ob die Schaltung in dem integrierten Schaltkreis wunschgemäß arbeitet. Ein

10 hierfür bekanntes Verfahren ist das sogenannte Stuck-At-Fehlermodell. Bei diesem Fehlermodell wird einzeln für jedes Element der kombinatorischen Logik überprüft, ob dessen Eingang und/oder Ausgang eine zu starke Koppelung mit dem positiven Versorgungspotential und/oder dem Bezugspotential aufweist. Dieses Prüfverfahren ist ein mehr oder weniger statisches Prüfverfahren, bei dem keine Flankenübergänge überprüft werden

15 können. Diesem gravierenden Nachteil steht der Vorteil gegenüber, dass sogenannte kombinatorische Testmustergeneratoren eingesetzt werden können, welche in Aufbau und Arbeitsweise relativ einfach sind.

Bei den auf dem Stande der Technik bekannten Verfahren muss dann, wenn auch

20 Flankenübergänge überprüft werden sollen, ein sogenannter sequentieller Testmuster-generator eingesetzt werden, welcher beispielsweise in zwei Testtakten die Zustände der kombinatorischen Logik überprüft und es somit auch gestattet, Flankenübergänge zu testen. Der gravierende Nachteil dieser Lösung besteht darin, dass solche sequentiellen Testmustergeneratoren sehr aufwendig und damit teuer sind. Ferner muss für diesen Test

25 eine sehr große Anzahl von Testvektoren erzeugt werden, so dass auch der Test als solcher aufwendig ist. Ein Beispiel für ein Verfahren, das einen derartigen sequentiellen Testmuster-generator einsetzt, ist das aus der US 5,377,197 bekannte Verfahren. Es ist Aufgabe der Erfindung, ein Testverfahren anzugeben, welches mit einem kombinatorischen Testmuster-generator arbeiten kann, und welches darüber hinaus die Überprüfung von Flanken

30 in der kombinatorischen Logik gestattet.

- Diese Aufgabe ist erfindungsgemäß dadurch gelöst,  
dass in der Testsoftware zwei identische Software-Modelle der zu prüfenden kombinatorischen Logik vorgesehen sind, wobei für Testzwecke ein Testmuster einem ersten dieser Software-Modelle zugeführt wird und deren Ausgangssignale auf ein zweites  
5 dieser Software-Modelle gekoppelt werden,  
dass in dem integrierten Schaltkreis eine Testschaltung vorgesehen ist, welche in einem Testmodus in einem ersten Testtaktzyklus dem Eingang der kombinatorischen Logik des integrierten Schaltkreises ein Testmuster zuführt und das Ausgangssignal in einen Zwischenspeicher übernimmt und welche dieses in einem zweiten Testtaktzyklus auf den  
10 Eingang der kombinatorischen Logik rückkoppelt und wiederum das Ausgangssignal der kombinatorischen Logik in den Zwischenspeicher übernimmt,  
und dass die Anordnung am Ende des zweiten Testtaktzyklus die in dem Zwischenspeicher stehenden Ergebnisse der kombinatorischen Logik des integrierten Schaltkreises mit den Ergebnissen des zweiten Software-Modells vergleicht.
- 15 Die in dem integrierten Schaltkreis vorgesehene und zu testende kombinatorische Logik, bei der es sich um verschiedenartige Schaltungselemente wie beispielsweise Gatter handeln kann und welche insbesondere keine speichernden Bauelemente aufweist, wird mittels eines Software-Modells emuliert. Dieses Softwaremodell ist in einem Computer lauffähig  
20 und ist so gestaltet, dass es das Verhalten, genauer das Soll-Verhalten, der kombinatorischen Logik emuliert, d. h. nachbildet. Ein wesentlicher Kerngedanke der erfinderischen Anordnung besteht darin, dieses Logikmodell der kombinatorischen Logik in doppelter Form vorzusehen. Es handelt sich also genau genommen um zwei identische, nacheinander geschaltete Logikmodelle der zu prüfenden kombinatorischen Logik. Wird  
25 dem ersten Softwaremodell ein Testmuster zugeführt, so werden dessen Ausgangssignale dem zweiten Softwaremodell als Eingangssignale zugeführt. Die Ausgangssignale des zweiten Softwaremodells werden in noch weiter zu erläuternder Weise zum Testen ausgewertet.
- 30 In dem eigentlich zu testenden integrierten Schaltkreis, also in der Hardware, ist eine Testschaltung vorgesehen, welche in einem Testmodus aktivierbar ist. Die Testschaltung weist einen Zwischenspeicher auf, welcher dazu dient, ein Testmuster zweimal hinter-

einander die kombinatorische Logik durchlaufen zu lassen. Dies geschieht dadurch, dass ein Testmuster, das in einem ersten Testtaktzyklus dem Eingang der kombinatorischen Logik des integrierten Schaltkreises zugeführt wird, am Ende dieses Testtaktes in den Zwischenspeicher übernommen wird. Mit einem zweiten Testtaktzyklus wird dieses

- 5 Ergebnis wiederum dem Eingang der kombinatorischen Logik zugeführt und steht am Ende dieses zweiten Testtaktzyklus in dem Zwischenspeicher als Testergebnis zur Verfügung. Auch in der eigentlichen Hardware, also der kombinatorischen Logik in dem integrierten Schaltkreis, wird also ein Testmuster zweimal hintereinander durch eben diese Logik geführt und damit verändert.

10

Dadurch, dass in einem Testtaktzyklus sowohl in der Hardware wie auch in dem Softwaremodell ein Testmuster zweimal hintereinander durch die kombinatorische Logik geführt wird, kann deren dynamisches Verhalten, also das Flankenverhalten geprüft werden. In dem ersten Testtaktzyklus werden in der kombinatorischen Logik bestimmte Zustände erzeugt. Diese werden in den zweiten Testtaktzyklus durch neue Zustände ersetzt. Durch

15 Überprüfen der Zustände am Ende des zweiten Testtaktzyklus kann somit überprüft werden, ob alle Elemente der kombinatorischen Logik den Wechsel von dem ersten Zustand des ersten Testtaktzyklus zu dem Zustand in dem zweiten Testtaktzyklus vollzogen haben.

20

Zur Überprüfung der Arbeitsweise des integrierten Schaltkreises bzw. der in diesem vorgesehenen kombinatorischen Logik wird am Ende des zweiten Testtaktzyklus das Ergebnis des Zwischenspeichers in dem integrierten Schaltkreis mit dem Ergebnis der beiden hintereinander geschalteten Softwaremodelle verglichen. Dieser Vergleich zeigt unmittelbar, ob die kombinatorische Logik in dem integrierten Schaltkreis das gewünschte Soll-

25 Verhalten aufweist.

- In der erfindungsgemäßen Anordnung zum Testen kann die Erzeugung der Testmuster mittels eines relativ einfachen kombinatorischen Testmustergenerators vorgenommen
- 30 werden. Es entsteht somit ein recht geringer Testaufwand. Dennoch ist aufgrund der oben beschriebenen Testtaktzyklen bzw. des verdoppelten Softwaremodells ein Testen von Flanken in den Signalen der kombinatorischen Logik möglich.

Eine Ausgestaltung der Erfindung gemäß Anspruch 2. sieht vor, dass der Zwischenspeicher als Schieberegister ausgebildet ist, mittels dessen ein Einlesen und/oder Auslesen der Testmuster vorgenommen wird. Auf diese Weise kann der Zwischenspeicher sowohl Daten parallel aus der kombinatorischen Logik übernehmen bzw. diese an den Eingang der kombinatorischen Logik zurückführen, wie auch seriell Testmuster ein- oder auslesen.

Nachfolgend wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

- 10 Figur 1: eine schematische Darstellung einer zu testenden kombinatorischen Logik mit einer Testschaltung und

Figur 2: eine schematische Darstellung von Test-Software, in der das Softwaremodell für die Emulation der kombinatorischen Logik des integrierten Schaltkreises gemäß Figur 1 in verdoppelter Form vorliegt.

Eine schematische Darstellung gemäß Figur 1 zeigt Elemente eines integrierten Schaltkreises. In dem integrierten Schaltkreis soll insbesondere eine kombinatorische Logik 1 geprüft werden. Derartige Prüfprozesse sind nach Fertigung des integrierten Schaltkreises bzw. der kombinatorischen Logik sinnvoll, um das korrekte Verhalten der Logik zu überprüfen. Es handelt sich hierbei um die Hardware, also um den nach dem Fertigungsverfahren entstandenen integrierten Schaltkreise der kombinatorischen Logik 1.

In dem integrierten Schaltkreis ist eine Testschaltung vorgesehen, welche aus Flip-Flops 2, 3, 4 und 5 aufgebaut ist. Diese Flip-Flops dienen sowohl als Zwischenspeicher zum Abspeichern der Testergebnisse der kombinatorischen Logik 1 wie auch zum Ein- und Auslesen von Testmustern.

Dazu sind erste Eingänge der Schieberegister 2, 3, 4 und 5 mit Ausgängen der kombinatorischen Logik 1 gekoppelt. Über diese ersten Eingänge werden Daten aus der kombinatorischen Logik 1 beim Testen übernommen. Dies geschieht in Abhängigkeit eines Taktsignals CLK, welches jeweils einem Takteingang der Flip-Flops 2, 3, 4 und 5 zugeführt

wird.

Auf jeweils dritte Eingänge der Schieberegister 2, 3, 4 und 5 ist ein Testsignal geführt, welche in der Figur mit TEST gekennzeichnet ist. Mittels dieses Testsignals kann die gesamte Schaltung in einen Testmodus versetzt werden, in welchem die Flip-Flops 2, 3, 4 und 5 auf einen vierten Eingang umgeschaltet werden und von diesem die Daten übernehmen. Das erste Flip-Flop 2 übernimmt dabei Daten von einem Testsignal TI, bei dem es sich um ein Testmuster handelt. Der Ausgang des Flip-Flops 2 ist auf den zweiten Eingang des Flip-Flops 3, der Ausgang des Flip-Flops 3 auf den zweiten Eingang des Flip-Flops 4 und der Ausgang des Flip-Flops 4 auf den zweiten Eingang des Flip-Flops 5 gekoppelt. Es entsteht somit bei aktiviertem Testsignal TEST ein Schieberegister. Dieses Schieberegister gestattet es, über den Eingang TI Daten seriell in die Kette der Flip-Flops 2, 3, 4 und 5, die in dieser Betriebsart ein Schieberegister bilden, einzulesen. In entsprechender Weise ist über diese Kette auch ein Auslesen von Daten möglich, wobei dieses Auslesen über den Ausgang des letzten Flip-Flops 5 vorgenommen wird. Diese Verbindung ist in der Figur mit TO gekennzeichnet und gestattet ein Auslesen eines in den Flip-Flops 2 bis 5 gespeicherten Testmusters.

Die kombinatorische Logik 1 weist ferner Eingänge PI und Ausgänge PO auf, bei denen es sich um die für die eigentliche Applikation der kombinatorischen Logik vorgesehen Ein- und Ausgänge handelt. Diese werden auch beim Testen aktiviert, insbesondere werden also den Eingängen PI auch beim Testen Daten zugeführt.

Die Ausgänge der Flip-Flops 2, 3, 4 und 5 sind jeweils auf Eingänge der kombinatorischen Logik 1 rückgekoppelt.

In einem Testvorgang der Schaltung geschieht gemäß der Erfindung folgendes:

Es wird zunächst über den Eingang TI bei aktiviertem Testsignal TEST ein Testmuster, in diesem Beispiel bestehend aus vier Bits, in die Flip-Flops 2, 3, 4 und 5 eingelesen. Dies geschieht in serieller Weise, da in diesem Zustand die Flip-Flops 2 bis 5 eine Art Schieberegister bilden. Anschließend wird zum Testen der kombinatorischen Logik ein Testtakt-

zyklus durchgeführt, in dessen Verlauf das in das Schieberegister, das aus den Flip-Flops 2 bis 5 gebildet wird, eingelesene Testmuster auf die Eingänge der kombinatorischen Logik 1 rückgekoppelt wird, die kombinatorische Logik 1 durchläuft und verändert wird. Die entsprechenden Daten werden am Ende dieses Testtaktzyklus in die Flip-Flops 2, 3, 4 und 5 parallel übernommen. Anschließend werden diese Daten, die an den Ausgängen der Flip-Flops 2 bis 5 anstehen in einem zweiten Testtaktzyklus wiederum die kombinatorische Logik 1 durchlaufen. Die hierbei wiederum veränderten Daten werden wieder in die Flip-Flops 2, 3, 4 und 5 übernommen. Schließlich werden diese Daten seriell über den Testausgang TO ausgelesen.

10

Im Ergebnis wird auf diese Weise ein Testmuster zweimal die kombinatorische Logik durchlaufen. In dem ersten Testtaktzyklus werden die Elemente der kombinatorischen Logik bestimmte Zustände einnehmen. Durch den zweiten Durchlauf werden diese Zustände wiederum verändert. Durch Überprüfung der Zustände am Ende des zweiten Testtaktzyklus kann somit überprüft werden, ob die zu prüfenden Elemente der kombinatorischen Logik 1 den Übergang von dem Zustand am Ende des ersten Testtaktzyklus zu dem Soll-Zustand am Ende des zweiten Testtaktzyklus vollzogen haben.

Da für die beiden Testtaktzyklen nur ein Testvektor vorgesehen ist, der nacheinander zweimal die kombinatorische Logik durchläuft, und da dieser Testvektor am Ende des zweiten Testtaktzyklus auch nur einmal ausgelesen werden muss, kann ein sogenannter kombinatorischer Testmuster-generator eingesetzt werden, der relativ einfach ist.

Zur Überprüfung der Testergebnisse ist eine Testsoftware vorgesehen, welche in Figur 1 in schematischer Form dargestellt ist. In der Testsoftware ist ein erstes Softwaremodell 11 vorgesehen, welches das Verhalten der kombinatorischen Logik der Hardware, also der kombinatorischen Logik 1 gemäß Figur 1, emuliert, d. h. nachbildet. In der Darstellung gemäß Figur 2, die die Software schematisiert, ist ferner ein zweites Softwaremodell 16 vorgesehen, welches identisch dem ersten Softwaremodell 11 aufgebaut ist. Dieses zweite Softwaremodell emuliert also in gleicher Weise das Verhalten der kombinatorischen Logik 1 der Hardware gemäß Figur 1. Das zweite Softwaremodell 16 ist dem ersten Softwaremodell 11 nachgeschaltet, d. h. es übernimmt als Eingangssignale die Ausgangssignale des

ersten Softwaremodells 11.

Auch in dem Softwaremodell gemäß Figur 2 sind Flip-Flops 12, 13, 14 und 15 vorgesehen, welche in der Testsoftware entsprechend den Hardware-Flip-Flops der Schaltung gemäß Figur 1 verschaltet sind. Auch diese Flip-Flops 12, 13, 14 und 15 in den Softwaremodell gestatten also einerseits eine Übernahme von Testmustern aus den Softwaremodellen, ein Auslesen dieser Testmuster in ein Softwaremodell sowie ein Ein- und Auslesen von Testmustern über einen Testeingang  $TI_s$  und einen Testausgang  $TO_s$ .

- 10 Das erste Softwaremodell 11 weist primäre Eingänge  $PI1_s$  auf, die den Eingängen  $PI_s$  der kombinatorischen Logik 1 gemäß Figur 1 entsprechen. In ähnlicher Weise weist das zweite Softwaremodell 16 einen Primäreingang  $PI2_s$  auf. Dem zweiten Softwaremodell 16 kann, umgeschaltet mittels Multiplexern 17 und 18 und eines diesen zugeführten Umschaltsignals  $PIS_s$  entweder das Eingangssignal  $PI1_s$  oder das Eingangssignal  $PI2_s$  zugeführt werden. In dem Softwaremodell dienen diese Signale natürlich nur zum Testen. Sie sind dennoch wesentlich, da sich diese Signale in den Modellen der kombinatorischen Logik 11 und 16 mit den Testmustern überlagern. Das zweite Softwaremodell 16 weist ferner Primärausgänge  $PO_s$  auf.
- 20 Der oben anhand der Figur 1 für die Hardware beschriebene Testdurchlauf wird für die Software entsprechend Figur 2 in ähnlicher Weise vorgenommen. Es wird zunächst über den Testeingang  $TI_s$  ein Testmuster in die Flip-Flops 12, 13, 14 und 15 übernommen. Anschließend durchläuft dieses Testmuster die beiden Softwaremodelle 11 und 16. Das Ausgangssignal des zweiten Softwaremodells 16 wird dann wiederum in die Flip-Flops 12, 13, 14 und 15 übernommen und ist über den Testausgang  $TEST_s$  auslesbar.
- 25

- Da in der Testsoftware gemäß Figur 2 die kombinatorische Logik als verdoppeltes Softwaremodell 11 und 16 vorgesehen ist, ist hier kein doppelter Durchlauf der Softwaremodelle erforderlich. Vielmehr liefert das zweite Softwaremodell 16 die Soll-Ergebnisse nach den beiden Testtaktzyklen. Diese werden mit den oben in der Hardware gemäß Figur 1 in den beiden Testtaktzyklen erzeugten Ergebnissen, wie sie schließlich über den Testausgang  $TO$  der Schaltung gemäß Figur 1 auslesbar sind, verglichen.
- 30



Durch den zweimal hintereinander erfolgenden Durchlauf eines Testmusters durch die kombinatorische Logik 1 der Hardware gemäß Figur 1 und durch die Verdoppelung des Softwaremodells dieser kombinatorischen Logik in Figur 2 in Form der Softwaremodelle 11 und 16 ist ein Test möglich, bei dem ein einfacher kombinatorischer Testmuster-

5 generator eingesetzt werden kann und bei dem dennoch ein Rückschluss auf das dynamische Verhalten insbesondere das Flankenverhalten von Schaltungselementen der kombinatorischen Logik 1 gezogen werden kann. Dies ist dadurch möglich, dass in der kombinatorischen Logik 1 nacheinander zwei Zustände erzeugt werden, so dass der Übergang von dem ersten auf den zweiten Zustand überprüft werden kann. Dies ent-

10 spricht der Überprüfung des dynamischen Verhaltens bzw. des Flankenverhaltens von Schaltungselementen der kombinatorischen Logik 1.

## PATENTANSPRÜCHE

1. Anordnung zum Testen eines integrierten Schaltkreises mit einer kombinatorischen Logik (1), wobei die Anordnung einen Test des Verhaltens der kombinatorischen Logik (1) im Vergleich zu einer Testsoftware vornimmt, die das Soll-Verhalten des integrierten Schaltkreises emuliert,

5 dadurch gekennzeichnet,

dass in der Testsoftware zwei identische Software-Modelle (11,16) der zu prüfenden kombinatorischen Logik (1) vorgesehen sind, wobei für Testzwecke ein Testmuster einem ersten (11) dieser Software-Modelle zugeführt wird und deren Ausgangssignale auf ein zweites (16) dieser Software-Modelle gekoppelt werden,

10 dass in dem integrierten Schaltkreis eine Testschaltung (2,3,4,5) vorgesehen ist, welche in einem Testmodus in einem ersten Testtaktzyklus dem Eingang der kombinatorischen Logik (1) des integrierten Schaltkreises ein Testmuster zuführt und das Ausgangssignal in einen Zwischenspeicher (2,3,4,5) übernimmt und welche dieses in einem zweiten Testtaktzyklus auf den Eingang der kombinatorischen Logik (1) rückkoppelt und  
15 wiederum das Ausgangssignal der kombinatorischen Logik (1) in den Zwischenspeicher (2,3,4,5) übernimmt,

und dass die Anordnung am Ende des zweiten Testtaktzyklus die in dem Zwischenspeicher (2,3,4,5) stehenden Ergebnisse der kombinatorischen Logik (1) des integrierten Schaltkreises mit den Ergebnissen des zweiten Software-Modells (16) vergleicht.

20

2. Anordnung nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet,

dass der Zwischenspeicher als Schieberegister (2,3,4,5) ausgebildet ist, mittels dessen ein Einlesen und/oder Auslesen der Testmuster vorgenommen wird.

25

1/1

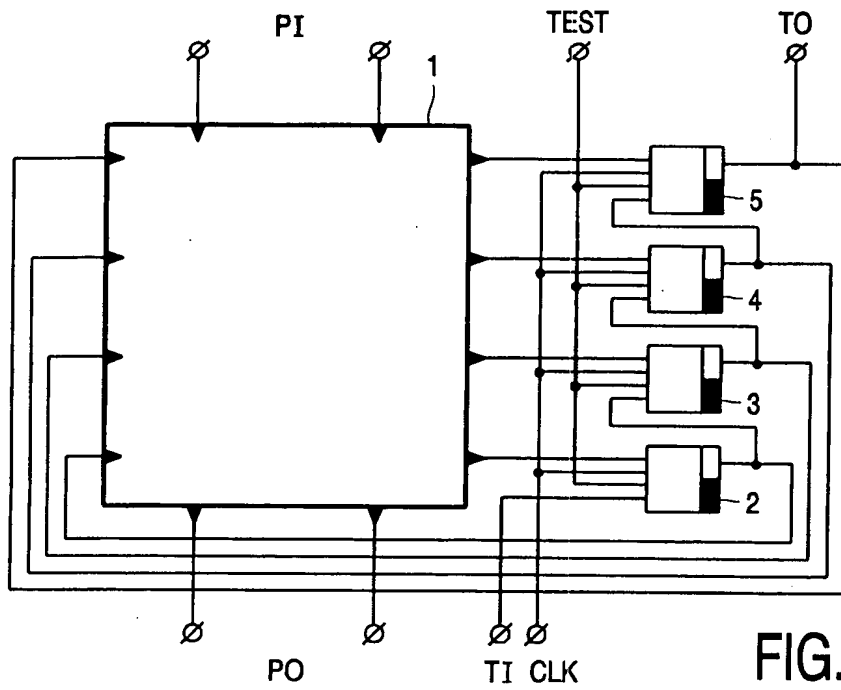


FIG. 1

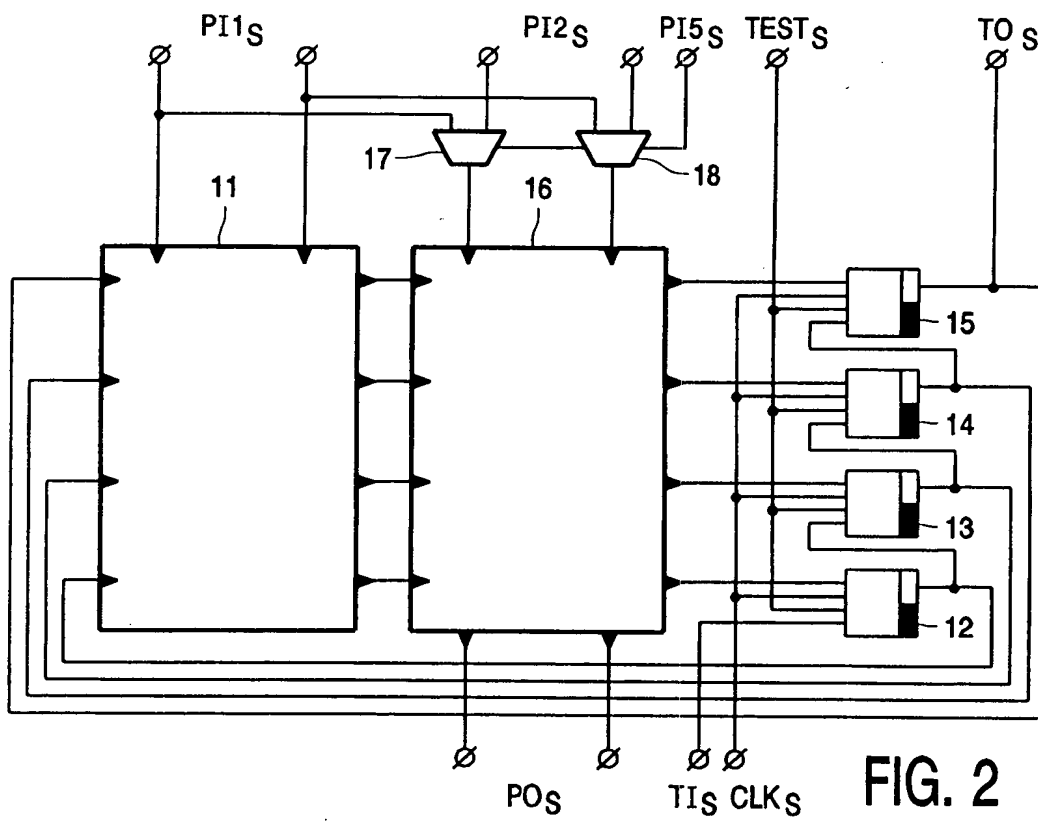


FIG. 2

ZUSAMMENFASSUNG

## Anordnung zum Testen eines integrierten Schaltkreises

Bei einer Anordnung zum Testen eines integrierten Schaltkreises mit einer kombinatorischen Logik (1), wobei die Anordnung einen Test des Verhaltens der kombinatorischen Logik (1) im Vergleich zu einer Testsoftware vornimmt, die das Soll-Verhalten des integrierten Schaltkreises emuliert, ist für die Überprüfung des Signalfankenverhaltens der kombinatorischen Logik (1) vorgesehen,

5 dass in der Testsoftware zwei identische Software-Modelle (11,16) der zu prüfenden kombinatorischen Logik (1) vorgesehen sind, wobei für Testzwecke ein Testmuster einem ersten (11) dieser Software-Modelle zugeführt wird und deren Ausgangssignale auf ein

10 zweites (16) dieser Software-Modelle gekoppelt werden,

dass in dem integrierten Schaltkreis eine Testschaltung (2,3,4,5) vorgesehen ist, welche in einem Testmodus in einem ersten Testtaktzyklus dem Eingang der kombinatorischen Logik (1) des integrierten Schaltkreises ein Testmuster zuführt und das Ausgangssignal in

15 einen Zwischenspeicher (2,3,4,5) übernimmt und welche dieses in einem zweiten Testtaktzyklus auf den Eingang der kombinatorischen Logik (1) rückkoppelt und wiederum das Ausgangssignal der kombinatorischen Logik (1) in den Zwischenspeicher (2,3,4,5) übernimmt,

und dass die Anordnung am Ende des zweiten Testtaktzyklus die in dem Zwischenspeicher

20 (2,3,4,5) stehenden Ergebnisse der kombinatorischen Logik (1) des integrierten Schaltkreises mit den Ergebnissen des zweiten Software-Modells (16) vergleicht.

Fig. 2

